

BEST AVAILABLE COPY

BEST AVAILABLE COPY

(7)

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-183539

(43)Date of publication of application : 06.07.2001

(51)Int.Cl.

G02B 6/122  
G02B 6/12

(21)Application number : 11-369143

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 27.12.1999

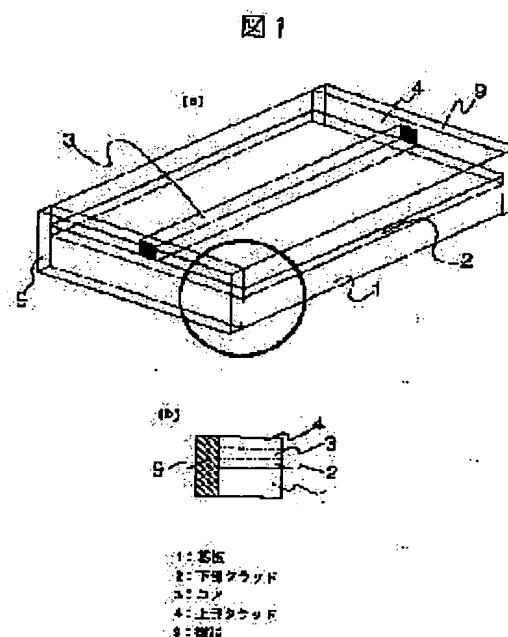
(72)Inventor : ICHIKAWA HIROICHI  
IDO TATSUMI  
NAGARA TAKAMITSU  
KOIZUMI MARI  
KUWABARA AKIRA

## (54) ORGANIC OPTICAL WAVEGUIDE, OPTICAL MODULE, AND OPTICAL INTEGRATED CIRCUIT

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve the reliability of an optical waveguide which has a large thermal expansion coefficient difference between the insulating film and substrate 1 forming the organic optical waveguide.

SOLUTION: A resin 9 is brought into contact with the substrate, a lower clad 2, a core 3, and an upper clad 4, respectively.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 19.03.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 05.04.2005

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-183539

(P2001-183539A)

(43) 公開日 平成13年7月6日 (2001.7.6)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>G 0 2 B 6/122  
6/12

識別記号

F I

G 0 2 B 6/12

テ-マ-コード (参考)

A 2 H 0 4 7  
N

審査請求 未請求 請求項の数27 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願平11-369143

(22) 出願日 平成11年12月27日 (1999. 12. 27)

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 市川 ▲博▼一

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(72) 発明者 井戸 立身

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(74) 代理人 100075096

弁理士 作田 康夫

最終頁に続く

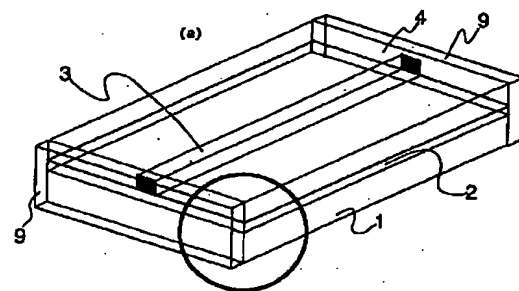
(54) 【発明の名称】 有機光導波路および光モジュールおよび光集積回路

## (57) 【要約】

【課題】 有機光導波路を形成する絶縁膜と基板1との熱膨張係数差が大きい光導波路の信頼性を向上する。

【解決手段】 樹脂9が基板1と下部クラッド2とコア3と上部クラッド4の各々に接する構造をとらせる。

図1



1: 基板  
2: 下部クラッド  
3: コア  
4: 上部クラッド  
9: 樹脂



【請求項 15】有機光導波路を搭載しており樹脂封止されている光モジュールにおいて、有機光導波路が下から順に下部クラッド、コア、上部クラッドをそれぞれ基板上に積層して形成されたものであり、下部クラッド、コア、上部クラッドを構成する絶縁膜の熱膨張係数が基板

【請求項 19】有機光導波路を搭載しており樹脂封止されている光モジュールにおいて、有機光導波路が下から順に第 1 の中間層、第 2 の中間層、下部クラッド、コア、上部クラッドをそれぞれ基板上に積層して形成されたものであり、下部クラッド、コア、上部クラッドを構成する絶縁膜の熱膨張係数が基板の熱膨張係数よりも大きく、その差が  $2.5 \times 10^{-5}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) 以上であり、さ

らに下部クラッド、コア、上部クラッドを構成する絶縁膜の膜厚が $10\mu\text{m}$ 以上であり、さらに樹脂封止に用いられる樹脂が有機光導波路の端面に入り込み基板、第1の中間層、第2の中間層、下部クラッド、コア、上部クラッドの全てに接する構造を持つことを特徴とする光モジュール。

【請求項20】有機光導波路を搭載しており樹脂封止されている光モジュールにおいて、有機光導波路が下から順に第1の中間層、第2の中間層、下部クラッド、コア、上部クラッドをそれぞれ基板上に積層して形成されたものであり、下部クラッド、コア、上部クラッドを構成する絶縁膜の熱膨張係数が基板の熱膨張係数よりも大きく、その差が $1.2 \times 10^{-5}$  ( $^{\circ}\text{C}$ )以上であり、さらに下部クラッド、コア、上部クラッドを構成する絶縁膜の膜厚が $20\mu\text{m}$ 以上であり、さらに樹脂封止に用いられる樹脂が有機光導波路の端面に入り込み基板、第1の中間層、第2の中間層、下部クラッド、コア、上部クラッドの全てに接する構造を持つことを特徴とする光モジュール。

【請求項21】有機光導波路を搭載しており樹脂封止されている光モジュールにおいて、有機光導波路が下から順に第1の中間層、第2の中間層、下部クラッド、コア、上部クラッドをそれぞれ基板上に積層して形成されたものであり、下部クラッド、コア、上部クラッドを構成する絶縁膜の熱膨張係数が基板の熱膨張係数よりも大きく、その差が $0.6 \times 10^{-5}$  ( $^{\circ}\text{C}$ )以上であり、さらに下部クラッド、コア、上部クラッドを構成する絶縁膜の膜厚が $40\mu\text{m}$ 以上であり、さらに樹脂封止に用いられる樹脂が有機光導波路の端面に入り込み基板、第1の中間層、第2の中間層、下部クラッド、コア、上部クラッドの全てに接する構造を持つことを特徴とする光モジュール。

【請求項22】有機光導波路を搭載しており樹脂封止されている光モジュールにおいて、有機光導波路が下から順に第1の中間層、第2の中間層、第3の中間層、下部クラッド、コア、上部クラッドをそれぞれ基板上に積層して形成されたものであり、下部クラッド、コア、上部クラッドを構成する絶縁膜の熱膨張係数が基板の熱膨張係数よりも大きく、その差が $2.5 \times 10^{-5}$  ( $^{\circ}\text{C}$ )以上であり、さらに下部クラッド、コア、上部クラッドを構成する絶縁膜の膜厚が $10\mu\text{m}$ 以上であり、さらに樹脂封止に用いられる樹脂が有機光導波路の端面に入り込み基板、第1の中間層、第2の中間層、第3の中間層、下部クラッド、コア、上部クラッドの全てに接する構造を持つことを特徴とする光モジュール。

【請求項23】有機光導波路を搭載しており樹脂封止されている光モジュールにおいて、有機光導波路が下から順に第1の中間層、第2の中間層、第3の中間層、下部クラッド、コア、上部クラッドをそれぞれ基板上に積層して形成されたものであり、下部クラッド、コア、上部

クラッドを構成する絶縁膜の熱膨張係数が基板の熱膨張係数よりも大きく、その差が $1.2 \times 10^{-5}$  ( $^{\circ}\text{C}$ )以上であり、さらに下部クラッド、コア、上部クラッドを構成する絶縁膜の膜厚が $20\mu\text{m}$ 以上であり、さらに樹脂封止に用いられる樹脂が有機光導波路の端面に入り込み基板、第1の中間層、第2の中間層、第3の中間層、下部クラッド、コア、上部クラッドの全てに接する構造を持つことを特徴とする光モジュール。

【請求項24】有機光導波路を搭載しており樹脂封止されている光モジュールにおいて、有機光導波路が下から順に第1の中間層、第2の中間層、第3の中間層、下部クラッド、コア、上部クラッドをそれぞれ基板上に積層して形成されたものであり、下部クラッド、コア、上部クラッドを構成する絶縁膜の熱膨張係数が基板の熱膨張係数よりも大きく、その差が $0.6 \times 10^{-5}$  ( $^{\circ}\text{C}$ )以上であり、さらに下部クラッド、コア、上部クラッドを構成する絶縁膜の膜厚が $40\mu\text{m}$ 以上であり、さらに樹脂封止に用いられる樹脂が有機光導波路の端面に入り込み基板、第1の中間層、第2の中間層、第3の中間層、下部クラッド、コア、上部クラッドの全てに接する構造を持つことを特徴とする光モジュール。

【請求項25】下部クラッド、コア、上部クラッドを構成する絶縁膜がポリイミドであることを特徴とする請求項1から請求項12までのいずれか記載の有機光導波路。

【請求項26】有機光導波路の下部クラッド、コア、上部クラッドを構成する絶縁膜がポリイミドであることを特徴とする請求項13から請求項24までのいずれか記載の光モジュール。

【請求項27】請求項1から請求項12までのいずれか記載の有機光導波路を有することを特徴とする光集積回路。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は有機光導波路、有機光導波路を搭載した光モジュール、有機光導波路を搭載した光集積回路に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、光導波路およびそれを用いた光モジュールの研究が行われ、光部品の小型化・低コスト化が進められている。光導波路のなかで、有機光導波路は作製が容易で量産性に優れ、低コスト化が期待できる。有機光導波路およびそれを用いた光モジュールの従来技術として、特開平4-9807号公報、特開平9-219020号公報、特開平11-133254号公報、W098137445号公報などが知られている。

【0003】図2に、上記W098137445号公報に記載されている従来の有機光導波路の構造を示す。この有機光導波路は、まずシリコンの基板1上に有機光導波路を構成する絶縁膜とシリコン基板1とを接着性を向

上させるための接着層10を塗布し、ついで下部クラッド2となるポリイミドの前駆体（ポリアミド酸）を塗布し、ベーキングによりイミド化して下部クラッド2を形成し、その上にコア3となるポリイミドの前駆体を塗布・ベーキングし、フォトリソグラフィとドライエッチによりコア3を形成し、さらにその上に上部クラッド4となるポリイミドの前駆体を塗布・ベーキングし、上部クラッド4を形成することで作製されている。ここで、コア3の屈折率は下部クラッド2と上部クラッド4の屈折率よりも大きくなるようにポリイミドの前駆体を選ばれる。

#### 【0004】

【発明が解決しようとする課題】ところで、有機光導波路は低コスト化が期待できるが、有機光導波路端面部で起こるポリイミド膜の膜剥離が有機光導波路の劣化原因の一つであることがわかった。

【0005】図3はポリイミド膜の剥離幅と、図2に示した構造を持つ光導波路端面部の損失との相関を測定した結果を示す図である。この測定は、温度121℃、湿度100%の加速劣化試験を500時間印加した有機光導波路の入・出力端面を、各々2mmずつ切断し、上記切断前の光損失と切断後の光損失との差をとることにより、光導波路端面部の損失を求めたものである。従来例として図2に示した有機光導波路では、基板1と下部クラッド2との間に接着層10を設けて基板1とポリイミド膜との接着性を向上させているが、それでも接着性は不十分であり、膜剥離が発生する。図3によれば、膜剥離が進行するにつれて光導波路端面部の損失が増加することがわかる。

【0006】この膜剥離は、ポリイミド膜の熱膨張係数がシリコン基板1の熱膨張係数よりも大きいために発生する。ポリイミドを用いて有機光導波路を作製する際、イミド化のためのベーキングを行うが、ベーク温度から室温に戻る過程で、熱膨張係数の違いに起因する引っぱり性の応力がポリイミド膜からシリコン基板1に作用する。このような熱膨張係数の違いによる引っぱり性の応力がポリイミド膜の剥離を発生させる主な要因である。

【0007】なお、この引っぱり性の応力は、ポリイミド膜とシリコン基板1との熱膨張係数差と、ポリイミド膜の膜厚との積に比例する。ポリイミド膜とシリコン基板1の熱膨張係数はそれぞれ $4.0 \times 10^{-5}$ （/℃）と $3.0 \times 10^{-6}$ （/℃）であるため、その差は約 $2.5 \times 10^{-5}$ （/℃）である。図3のテストを行った有機光導波路におけるポリイミド膜の膜厚は25μmである。さらに図2に示した光導波路は基板1と下部クラッド2との間に接着層10を設けて膜剥離が発生しにくい構造がとられている。したがって基板1と下部クラッド2との間に接着層10を設けても熱膨張係数差が $2.5 \times 10^{-5}$ （/℃）に達し、さらにポリイミド膜の膜厚が25μm以上で、図3に示した膜剥離が発生し損失増加がお

こる。

【0008】図3はポリイミド膜と基板1との間に接着層10を設けた有機光導波路について示しているが、もし基板1と下部クラッド2との間に接着層10がない場合は熱膨張係数差が $2.5 \times 10^{-5}$ （/℃）に達したとき、ポリイミド膜の膜厚が10μm以上で膜剥離が発生し、損失増加が起こる。

【0009】単一モードのみを伝搬させるように光導波路を設計すると、光導波路を構成するポリイミドの膜厚は10μm程度であるが、マルチモードを伝搬させるように光導波路を設計すると、コア3の面積が4倍、16倍となるために、下部クラッド2と上部クラッド3の高さも2倍、4倍となる。すなわち、マルチモードを伝搬させるように光導波路を設計すると、ポリイミド膜厚が2倍、4倍になる。

【0010】引っぱり性の応力は熱膨張係数差とポリイミド膜の膜厚との積に比例するため、ポリイミド膜の膜厚が2倍の20μmの場合には、熱膨張係数差が半分の $1.2 \times 10^{-5}$ （/℃）で図3に示した程度の膜剥離が発生し損失増加がおこる。さらにポリイミド膜の膜厚が4倍の40μmの場合には、熱膨張係数差が4分の1の $0.6 \times 10^{-5}$ （/℃）で図3に示した程度の膜剥離が発生し損失増加がおこる。

【0011】なお、光導波路端面部で起こる膜剥離は、ポリイミド膜を用いて作製した有機光導波路に限ったことではなく、有機光導波路を形成する絶縁膜と基板1との熱膨張係数差と、有機光導波路を構成する絶縁膜との積が上記の値に達した場合に起こる。また図3はポリイミド膜と基板1との間に1層の接着層10を設けた有機光導波路について示しているが、接着層10を多層構造にした場合でも膜剥離が発生する。

【0012】本発明の目的は、有機光導波路の信頼性を向上するために、光導波路端面部で起こる、上述のようなポリイミド膜の剥離を防止することにある。

#### 【0013】

【課題を解決するための手段】有機光導波路の端面を樹脂で封止することにより、樹脂が光導波路を形成する絶縁膜と基板1とを接着し膜剥離を防止することができる。特に図3に示したように熱膨張係数差が $2.5 \times 10^{-5}$ （/℃）に達し、さらに有機光導波路を構成する膜厚が10μm以上の場合、膜剥離が発生し損失増加がおこる。

【0014】これに基づき、本発明では以下の有機光導波路の構造をとることにより、上記課題を解決する。すなわち、有機光導波路が下から順に下部クラッド、コア、上部クラッドをそれぞれ基板上に積層して形成されたものであり、下部クラッド、コア、上部クラッドを構成する絶縁膜の熱膨張係数が基板の熱膨張係数よりも大きく、その差が $2.5 \times 10^{-5}$ （/℃）以上であり、さらに下部クラッド、コア、上部クラッドを構成する絶縁

膜の膜厚が  $10\text{ }\mu\text{m}$  以上であり、さらに樹脂が基板、下部クラッド、コア、上部クラッドの全てに接する構造を持つことを特徴とする有機光導波路。

【0015】一方、膜剥離の原因である引っぱり性応力は、ポリイミド膜とシリコン基板 1 との熱膨張係数差と、ポリイミド膜の膜厚との積に比例する。このため有機光導波路を構成する膜の膜厚が大きければ、熱膨張係数差が小さくとも膜剥離が発生し、損失増加が起こる。

【0016】例えば有機光導波路を構成する膜の膜厚が  $20\text{ }\mu\text{m}$  以上の場合、熱膨張係数差は  $1.2 \times 10^{-5}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) で膜剥離が発生し、膜厚が  $40\text{ }\mu\text{m}$  以上の場合、熱膨張係数差は  $0.6 \times 10^{-5}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) で膜剥離が発生する。これらの場合にも樹脂が光導波路を形成する絶縁膜と基板 1 とに接する構造をとることにより、膜剥離は防止できる。

【0017】また、基板 1 と有機光導波路の下部クラッド 2 との間に接着層 10 や、第 2 の下部クラッド 2 などの中間層を設けてもよい。中間層を設けた場合にも、樹脂が光導波路を形成する絶縁膜、基板 1、中間層に接する構造をとることにより、膜剥離は防止できる。複数の中間層を設けた場合には、樹脂が光導波路を形成する絶縁膜、基板 1、複数の中間層に接する構造をとることにより、膜剥離は防止できる。

【0018】一方、有機光導波路を搭載して光モジュールを製造する際、光モジュールの封止に用いる樹脂 9 を利用できる。この封止用樹脂が有機光導波路の端面に入り込むようにする。そうすることにより封止用樹脂 9 がポリイミド膜と基板とを接着し、膜剥離を防止できる。

【0019】具体的には以下の光モジュールの構造をとることにより課題は解決できる。すなわち、有機光導波路を搭載しており、樹脂封止されている光モジュールにおいて、有機光導波路が下から順に下部クラッド、コア、上部クラッドをそれぞれ基板上に積層して形成されたものであり、下部クラッド、コア、上部クラッドを構成する絶縁膜の熱膨張係数が基板の熱膨張係数よりも大きくその差が  $2.5 \times 10^{-5}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) 以上であり、さらに下部クラッド、コア、上部クラッドを構成する絶縁膜の膜厚が  $10\text{ }\mu\text{m}$  以上であり、さらに樹脂封止に用いられる樹脂が有機光導波路の端面に入り込み基板、下部クラッド、コア、上部クラッドの全てに接する構造を持つ光モジュール。

【0020】光モジュールの封止に用いる樹脂 9 を利用する場合にも、有機光導波路を構成する絶縁膜厚が 2 倍、4 倍になれば、基板 1 と絶縁膜との熱膨張係数差が 2 分の 1、4 分の 1 で膜剥離が発生する。この場合にも封止用樹脂が基板 1 と、光導波路を構成する絶縁膜とに接する構造をとることにより膜剥離を防止できる。さらに、基板 1 と有機光導波路の下部クラッド 2 との間に接着層 10 を持つ場合にも、封止用樹脂が基板 1 と、中間層と、光導波路を構成する絶縁膜とに接する構造をとる

ことにより膜剥離を防止できる。

【0021】また、ポリイミド膜は熱膨張係数が大きいので、このポリイミド膜を用いて有機光導波路を構成した場合、特に本発明は有効である。

【0022】上記には、光モジュールを樹脂封止する場合を記したが、本発明は光集積回路を樹脂封止する際にも有効である。したがって、光モジュールだけでなく光集積回路も本発明に含まれる。

【0023】

10 【発明の実施の形態】（実施例 1）以下、図 4 を参照して本発明を有機光導波路に適応した場合の実施例を説明する。図 4 (a) は下部クラッド 2 を形成した状態を示す断面図である。シリコンの基板 1 の上にポリイミドの前駆体（ポリアミド酸）をスピンコート法により塗布する。膜厚は  $5\text{ }\mu\text{m}$  である。これを  $350^{\circ}\text{C}$  でベーキングを行うことによりポリアミド酸をイミド化させる。イミド化することによりポリマー内の CH 基振動による赤外吸収が減り、波長  $1.4 \pm 0.5\text{ }\mu\text{m}$  の光導波路損失が減る。

20 【0024】図 4 (b) はコア 3 を形成した図である。図 4 (a) の構造上にポリイミドの前駆体を塗布・ベーキングする。膜厚は  $5\text{ }\mu\text{m}$  である。この際コア 3 の屈折率は下部クラッド 2 の屈折率よりも大きくなるようにポリイミドの前駆体を選ぶ。そしてフォトリソグラフィとドライエッチにより余分な部分を除去しコア 3 を形成する。

30 【0025】図 4 (c) は上部クラッド 4 を形成した図である。図 4 (b) の構造上にポリイミドの前駆体を塗布・ベーキングする。膜厚はコア 3 の上部において  $5\text{ }\mu\text{m}$  である。この際、上部クラッド 4 の屈折率は下部クラッド 2 の屈折率と同じになるように、ポリイミドの前駆体を選ぶ。上部クラッド 4 の作製が完了した時点でポリイミド膜厚は  $15\text{ }\mu\text{m}$  で、ポリイミド膜と基板 1 との熱膨張係数差は  $2.5 \times 10^{-5}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) であるため膜剥離が発生する。

40 【0026】図 4 (d) はシリコン樹脂 9 を光導波路端面に接着させた図である。シリコン樹脂 9 は光導波路端面にまで入り込みポリイミド膜と基板 1 とに接着する。こうすることによりポリイミド膜の剥離を防止できる。すなわち、膜剥離による有機光導波路の劣化を防ぎ信頼性を向上できる。

【0027】図 1 (a) は上記のようにして作製した光導波路の概略斜視図である。また同図 (b) は上記図 1 (a) の円で示した端面部の断面を示したものである。

【0028】図 5 は本発明の効果を示す図である。樹脂 9 をポリイミド膜と基板 1 とに接着させることにより膜剥離を防止できることがわかる。

50 【0029】（実施例 2）つぎに、図 6 を参照しながら、シリコン基板 1 と下部クラッド 2 との間に中間層を設けた実施例を説明する。本実施例において、中間層は

ポリイミド膜と基板 1 との接着性を向上させる接着層 10 である。

【0030】図 6 (a) は第 1 の中間層である接着層 10 を形成した図である。シリコンの基板 1 の上に接着層 10 をスピコート法により塗布する。膜厚は  $0.1 \mu\text{m}$  である。

【0031】図 6 (b) は下部クラッド 2 を形成した図である。図 6 (a) の構造上にポリイミドの前駆体 (ポリアミド酸) をスピコート法により塗布する。膜厚は  $5 \mu\text{m}$  である。これを  $350^\circ\text{C}$  でベーキングを行うことによりポリアミド酸をイミド化させる。イミド化することによりポリマー内の CH 基振動による赤外吸収が減り、波長  $1.4 \pm 0.5 \mu\text{m}$  の光導波路損失が減る。

【0032】図 6 (c) はコア 3 を形成した図である。図 6 (b) の構造上にポリイミドの前駆体を塗布・ベーキングする。膜厚は  $5 \mu\text{m}$  である。この際コア 3 の屈折率は下部クラッド 2 の屈折率よりも大きくなるようにポリイミドの前駆体を選ぶ。そしてフォトリソグラフィとドライエッチにより余分な部分を除去しコア 3 を形成する。

【0033】図 6 (d) は上部クラッド 4 を形成した図である。図 6 (c) の構造上にポリイミドの前駆体を塗布・ベーキングする。膜厚はコア 3 の上部において  $5 \mu\text{m}$  である。この際、上部クラッド 4 の屈折率は下部クラッド 2 の屈折率と同じになるようにポリイミドの前駆体を選ぶ。上部クラッド 4 の作製が完了した時点でのポリイミド膜厚は  $15 \mu\text{m}$  で、ポリイミド膜と基板 1 との熱膨張係数差は  $2.5 \times 10^{-5} (^\circ\text{C})$  であるため膜剥離が発生する。

【0034】図 6 (e) はシリコン樹脂 9 を光導波路端面に接着させた図である。シリコン樹脂 9 は光導波路端面にまで入り込みポリイミド膜と基板 1 とに接着する。こうすることによりポリイミド膜の剥離を防止できる。すなわち、膜剥離による有機光導波路の劣化を防ぎ信頼性を向上できる。

【0035】図 7 は本発明の効果を示す図である。接着層 10 を設けてポリイミド膜との接着性を向上させたが不十分であり膜剥離が発生する。これに対し樹脂 9 をポリイミド膜と基板 1 とに接着させた場合は膜剥離が防止できていることがわかる。

【0036】(実施例 3) 図 8 を参照しながら本発明の第 3 の実施例を説明する。本実施例は、第 2 の実施例と同様に、シリコン基板 1 と下部クラッド 2 との間に中間層を設けた。ただし、上記中間層は、第 2 の下部クラッド層 2 である。この第 2 の下部クラッド層 2 は光導波路内の光の閉じ込めを向上させるために設けたものである。

【0037】図 8 (a) は第 2 の下部クラッド層 2 を形成した図である。シリコンの基板 1 の上にポリイミドの前駆体 (ポリアミド酸) をスピコート法により塗布す

る。膜厚は  $3 \mu\text{m}$  である。これを  $350^\circ\text{C}$  でベーキングを行うことによりポリアミド酸をイミド化させる。イミド化することによりポリマー内の CH 基振動による赤外吸収が減り、波長  $1.4 \pm 0.5 \mu\text{m}$  の光導波路損失が減る。

【0038】図 8 (b) は下部クラッド 2 を形成した図である。図 8 (a) の構造上にポリイミドの前駆体を塗布・ベーキングする。膜厚は  $5 \mu\text{m}$  である。

【0039】図 8 (c) はコア 3 を形成した図である。図 8 (b) の構造上にポリイミドの前駆体を塗布・ベーキングする。膜厚は  $5 \mu\text{m}$  である。この際コア 3 の屈折率は下部クラッド 2 の屈折率よりも大きくなるようにポリイミドの前駆体を選ぶ。そしてフォトリソグラフィとドライエッチにより余分な部分を除去しコア 3 を形成する。

【0040】図 8 (d) は上部クラッド 4 を形成した図である。図 8 (c) の構造上にポリイミドの前駆体を塗布・ベーキングする。膜厚はコア 3 の上部において  $5 \mu\text{m}$  である。この際、上部クラッド 4 の屈折率は下部クラッド 2 の屈折率と同じになるようにポリイミドの前駆体を選ぶ。上部クラッド 4 の作製が完了した時点でのポリイミド膜厚は  $18 \mu\text{m}$  で、ポリイミド膜と基板 1 との熱膨張係数差は  $2.5 \times 10^{-5} (^\circ\text{C})$  であるため膜剥離が発生する。

【0041】図 8 (e) はシリコン樹脂 9 を光導波路端面に接着させた図である。シリコン樹脂 9 は光導波路端面にまで入り込みポリイミド膜と基板 1 とに接着する。こうすることによりポリイミド膜の剥離を防止できる。すなわち、膜剥離による有機光導波路の劣化を防ぎ信頼性を向上できる。本実施例の場合も図 5 に示した効果が得られる。

【0042】(実施例 4) 図 9 を参照しながら第 4 の実施例を説明する。本実施例は、シリコン基板 1 と下部クラッド 2 との間に、第 1 と第 2 の中間層を設けた例である。本実施例において第 1 と第 2 の中間層はそれぞれ、ポリイミド膜と基板 1 との接着性を向上させる接着層 10 と、光導波路内の光の閉じ込めを向上させる第 2 の下部クラッド 2 である。

【0043】図 9 (a) は接着層 10 を形成した図である。シリコンの基板 1 の上に接着層 10 をスピコート法により塗布する。膜厚は  $0.1 \mu\text{m}$  である。

【0044】図 9 (b) は第 2 の下部クラッド層 2 を形成した図である。図 9 (a) の構造上にポリイミドの前駆体を塗布・ベーキングする。膜厚は  $3 \mu\text{m}$  である。

【0045】図 9 (c) は下部クラッド 2 を形成した図である。図 9 (b) の構造上にポリイミドの前駆体を塗布・ベーキングする。膜厚は  $5 \mu\text{m}$  である。

【0046】図 9 (d) はコア 3 を形成した図である。図 9 (c) の構造上にポリイミドの前駆体を塗布・ベーキングする。膜厚は  $5 \mu\text{m}$  である。この際コア 3 の屈折



率は下部クラッド2の屈折率よりも大きくなるようにポリイミドの前駆体を選ぶ。そしてフォトリソグラフィとドライエッチにより余分な部分を除去しコア3を形成する。

【0047】図9(e)は上部クラッド4を形成した図である。図9(d)の構造上にポリイミドの前駆体を塗布・ベークする。膜厚はコア3の上部において5 $\mu$ mである。この際、上部クラッド4の屈折率は下部クラッド2の屈折率と同じになるようにポリイミドの前駆体を選ぶ。上部クラッド4の作製が完了した時点でのポリイミド膜厚は18 $\mu$ mで、ポリイミド膜と基板1との熱膨張係数差は $2.5 \times 10^{-5}$  (1/°C)であるため膜剥離が発生する。

【0048】図9(f)はシリコン樹脂9を光導波路端面に接着させた図である。シリコン樹脂9は光導波路端面にまで入り込みポリイミド膜と基板1とに接着する。こうすることによりポリイミド膜の剥離を防止できる。すなわち、膜剥離による有機光導波路の劣化を防ぎ信頼性を向上できる。本実施例の場合も図7に示した効果が得られる。

【0049】(実施例5)図10を参照しながら実施例5を説明する。本実施例は基板1をSiO<sub>2</sub>膜とシリコンからなる2層構造にした実施例である。基板1を2層構造をとらせることにより光導波路の光の閉じ込めを向上させることができる。

【0050】図10(a)は下部クラッド2を形成した図である。シリコンとSiO<sub>2</sub>膜の2層構造を持つ基板1の上にポリイミドの前駆体(ポリアミド酸)をスピコート法により塗布する。膜厚は5 $\mu$ mである。これを350°Cでベークを行うことによりポリアミド酸をイミド化させる。イミド化することによりポリマー内のCH振動による赤外吸収が減り、波長1.4 $\pm$ 0.5 $\mu$ mの光導波路損失が減る。

【0051】図10(b)はコア3を形成した図である。図10(a)の構造上にポリイミドの前駆体を塗布・ベークする。膜厚は5 $\mu$ mである。この際コア3の屈折率は下部クラッド2の屈折率よりも大きくなるようにポリイミドの前駆体を選ぶ。そしてフォトリソグラフィとドライエッチにより余分な部分を除去しコア3を形成する。

【0052】図10(c)は上部クラッド4を形成した図である。図10(b)の構造上にポリイミドの前駆体を塗布・ベークする。膜厚はコア3の上部において5 $\mu$ mである。この際、上部クラッド4の屈折率は下部クラッド2の屈折率と同じになるようにポリイミドの前駆体を選ぶ。上部クラッド4の作製が完了した時点でのポリイミド膜厚は15 $\mu$ mで、ポリイミド膜と基板1との熱膨張係数差は $2.5 \times 10^{-5}$  (1/°C)であるため膜剥離が発生する。

【0053】図10(d)はシリコン樹脂9を光導波路

端面に接着させた図である。シリコン樹脂9は光導波路端面にまで入り込みポリイミド膜と2層構造を持つ基板1とに接着する。こうすることによりポリイミド膜の剥離を防止できる。すなわち、膜剥離による有機光導波路の劣化を防ぎ信頼性を向上できる。本実施例の場合も図5に示した効果が得られる。

【0054】(実施例6)以下は本発明を光モジュールに適用した場合の実施例である。以下、図11を参照しながら実施例を説明する。

【0055】図11(a)はフォトディテクタ5の搭載部7を形成した図である。図4(c)の構造にフォトリソグラフィとドライエッチによりポリイミド膜を除去し、搭載部7を形成する。

【0056】図11(b)は有機光導波路の入力側にファイバーブロック8を装着した図である。入力側の光導波路端面で発生するポリイミド膜の剥離は、このファイバーブロック8が入力側端面を上から抑え込むので防止できる。

【0057】図11(c)は有機光導波路の出力側にフォトディテクタ5を装着した図である。

【0058】図11(d)は光モジュールの保護のため、樹脂9を封止した図である。封止用樹脂9としてはシリコンジェルが一般的である。この際、樹脂9が有機光導波路の出力側とフォトディテクタ5を覆いかぶせるように封止する。こうすることにより樹脂9がポリマー光導波路の出力側端面に入り込み、基板1と下部クラッド2とコア3と上部クラッド4の各々に接するようになる。すると光導波路を構成しているポリイミド膜と基板1とを接着し、出力側端面で起こるポリイミド膜の剥離を防止できる。すなわち、膜剥離による光モジュールの劣化を防ぎ、信頼性を向上できる。実施例6のポリイミド膜厚は15 $\mu$ mで、ポリイミド膜と基板1との熱膨張係数差は $2.5 \times 10^{-5}$  (1/°C)であるため膜剥離が発生する。しかし、樹脂9が基板1とポリイミド膜に接着することにより本実施例の場合も図5に示した効果が得られる。

【0059】(実施例7)図12を参照しながら実施例7を説明する。本実施例は本発明を光モジュールに適用した場合の実施例であり、光導波路の入力側に直接、ファイバー11を樹脂9で固定したものである。こうすることにより樹脂9が光導波路の入力側端面を覆うため、入力側端面の膜剥離を防止できる。

【0060】図12(a)はフォトディテクタ5の搭載部7を形成した図である。図4(c)の構造にフォトリソグラフィとドライエッチによりポリイミド膜を除去し搭載部7を形成する。

【0061】図12(b)は有機光導波路の入力側にファイバー11を樹脂9で固定した図である。入力側の光導波路端面で発生するポリイミド膜の剥離は、樹脂9がポリマー光導波路の入力側端面に入り込み、基板1と下

部クラッド2とコア3と上部クラッド4の各々に接するようになる。すると光導波路を構成しているポリイミド膜と基板1とを接着し、入力側端面で起こるポリイミド膜の剥離を防止できる。

【0062】図12(c)は有機光導波路の出力側にフォトディテクタ5を装着した図である。

【0063】図12(d)は光モジュールの保護のため、樹脂9を封止した図である。封止用樹脂9としてシリコンジェルが一般的である。この際、樹脂9がポリマー光導波路の出力側とフォトディテクタ5を覆いかぶせるように封止する。こうすることにより樹脂9がポリマー光導波路の出力側端面に入り込み、基板1と下部クラッド2とコア3と上部クラッド4の各々に接するようになる。すると光導波路を構成しているポリイミド膜と基板1とを接着し、出力側端面で起こるポリイミド膜の剥離を防止できる。すなわち、膜剥離による光モジュールの劣化を防ぎ、信頼性を向上できる。実施例7のポリイミド膜厚は $15\mu\text{m}$ で、ポリイミド膜と基板1との熱膨張係数差は $2.5 \times 10^{-5} (\text{1/}^\circ\text{C})$ であるため膜剥離が発生する。しかし、樹脂9が基板1とポリイミド膜に接着することにより本実施例の場合も図5に示した効果が得られる。

【0064】(実施例8)図13を参照しながら実施例8を説明する。本実施例は、本発明を光モジュールに適応した場合の実施例であり、シリコン基板1と下部クラッド2との間に、中間層を設けたものである。本実施例において中間層は、ポリイミド膜と基板1との接着性を向上させる接着層10である。

【0065】図13(a)はフォトディテクタ5の搭載部7を形成した図である。図6(c)の構造にフォトリソグラフィとドライエッチによりポリイミド膜を除去し搭載部7を形成する。

【0066】図13(b)は有機光導波路の入力側にファイバブロック8を装着した図である。入力側の光導波路端面で発生するポリイミド膜の剥離は、このファイバブロック8が入力側端面を上から抑え込むので防止できる。

【0067】図13(c)は有機光導波路の出力側にフォトディテクタ5を装着した図である。

【0068】図13(d)は光モジュールの保護のため、樹脂9を封止した図である。封止用樹脂9としてはシリコンジェルが一般的である。この際、樹脂9がポリマー光導波路の出力側とフォトディテクタ5を覆いかぶせるように封止する。こうすることにより樹脂9がポリマー光導波路の出力側端面に入り込み、基板1と下部クラッド2とコア3と上部クラッド4の各々に接するようになる。すると光導波路を構成しているポリイミド膜と基板1とを接着し、出力側端面で起こるポリイミド膜の剥離を防止できる。すなわち、膜剥離による光モジュールの劣化を防ぎ信頼性を向上できる。実施例10のポリ

イミド膜厚は $15\mu\text{m}$ で、ポリイミド膜と基板1との熱膨張係数差は $2.5 \times 10^{-5} (\text{1/}^\circ\text{C})$ であるため膜剥離が発生する。しかし、樹脂9が基板1とポリイミド膜に接着することにより本実施例の場合も図7に示した効果が得られる。

【0069】(実施例9)図14を参照しながら実施例9を説明する。本実施例は、本発明を光モジュールに適応した場合の実施例であり、シリコン基板1と下部クラッド2との間に中間層を設け、さらに光導波路の入力側に直接、ファイバー11を樹脂9で固定したものである。本実施例において中間層は、ポリイミド膜と基板1との接着性を向上させる接着層10である。また光導波路の入力側に直接、ファイバー11を樹脂9で固定することにより樹脂9が光導波路の入力側端面を覆うため、入力側端面の膜剥離を防止できる。

【0070】図14(a)はフォトディテクタ5の搭載部7を形成した図である。図6(c)の構造にフォトリソグラフィとドライエッチによりポリイミド膜を除去し搭載部7を形成する。

【0071】図14(b)は有機光導波路の入力側にファイバー11を樹脂9で固定した図である。入力側の光導波路端面で発生するポリイミド膜の剥離は、樹脂9がポリマー光導波路の入力側端面に入り込み、基板1と下部クラッド2とコア3と上部クラッド4の各々に接するようになる。すると光導波路を構成しているポリイミド膜と基板1とを接着し、入力側端面で起こるポリイミド膜の剥離を防止できる。

【0072】図14(c)は有機光導波路の出力側にフォトディテクタ5を装着した図である。

【0073】図14(d)は光モジュールの保護のため、樹脂9を封止した図である。封止用樹脂9としてはシリコンジェルが一般的である。この際、樹脂9がポリマー光導波路の出力側とフォトディテクタ5を覆いかぶせるように封止する。こうすることにより樹脂9がポリマー光導波路の出力側端面に入り込み、基板1と下部クラッド2とコア3と上部クラッド4の各々に接するようになる。すると光導波路を構成しているポリイミド膜と基板1とを接着し、出力側端面で起こるポリイミド膜の剥離を防止できる。すなわち、膜剥離による光モジュールの劣化を防ぎ信頼性を向上できる。実施例11のポリイミド膜厚は $15\mu\text{m}$ で、ポリイミド膜と基板1との熱膨張係数差は $2.5 \times 10^{-5} (\text{1/}^\circ\text{C})$ であるため膜剥離が発生する。しかし、樹脂9が基板1とポリイミド膜に接着することにより本実施例の場合も図7に示した効果が得られる。

【0074】(実施例10)本実施例は、本発明の実施例6の図11に示した構造において、フォトディテクタ5のかわりにレーザダイオードを挿入したものである。本実施例と同様に、実施例7ないし9におけるフォトディテクタ5のかわりにレーザダイオードを挿入すること

も可能である。

【0075】

【発明の効果】本発明によると、有機光導波路端面部に接した樹脂 9 が有機光導波路と基板 1 とを接着するため、有機光導波路を形成している絶縁膜の剥離を防止する。したがって有機光導波路、および有機光導波路を搭載した光モジュールの信頼性を向上することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明による有機光導波路構造の例を示す概略斜視図および部分拡大断面図。

【図 2】従来の有機光導波路構造の例を示す概略斜視図。

【図 3】ポリイミド膜の剥離幅と光導波路端面部の損失との相関を示す測定図。

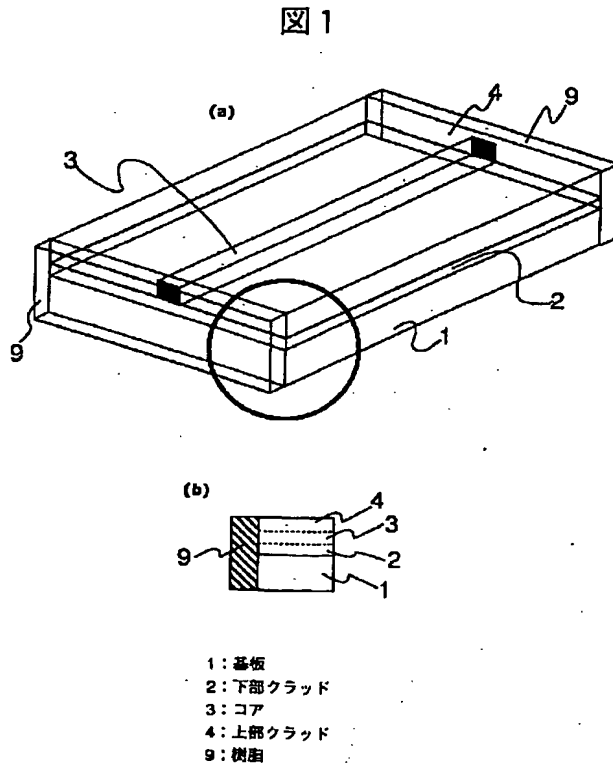
【図 4】本発明の実施例 1 の光導波路の製造工程を示す断面図。

【図 5】本発明の実施例 1 および従来例における加速劣化試験結果を示す測定図。

【図 6】本発明の実施例 2 の光導波路の製造工程を示す断面図。

【図 7】本発明の実施例 2 および従来例における加速劣

【図 1】



化試験結果を示す測定図。

【図 8】本発明の実施例 3 の光導波路の製造工程を示す断面図。

【図 9】本発明の実施例 4 の光導波路の製造工程を示す断面図。

【図 10】本発明の実施例 5 の光導波路の製造工程を示す断面図。

【図 11】本発明の実施例 6 の光導波路の製造工程を示す断面図。

10 【図 12】本発明の実施例 7 の光導波路の製造工程を示す断面図。

【図 13】本発明の実施例 8 の光導波路の製造工程を示す断面図。

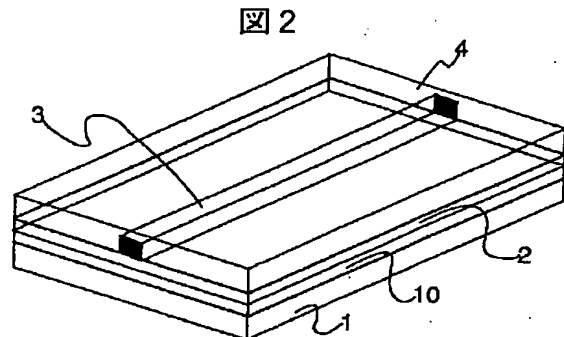
【図 14】本発明の実施例 9 の光導波路の製造工程を示す断面図。

【符号の説明】

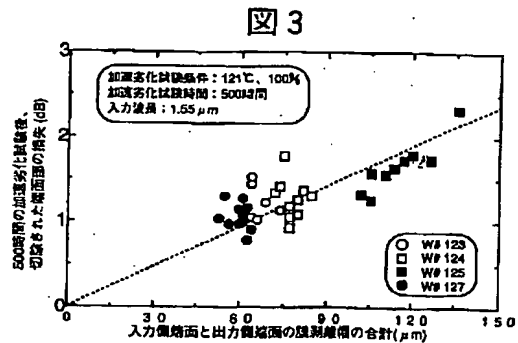
1…基板、2…下部クラッド、3…コア、4…上部クラッド、5…フォトディテクタ、7…搭載部、8…ファイバーブロック、9…樹脂、10…接着層、11…光ファイバー。

20

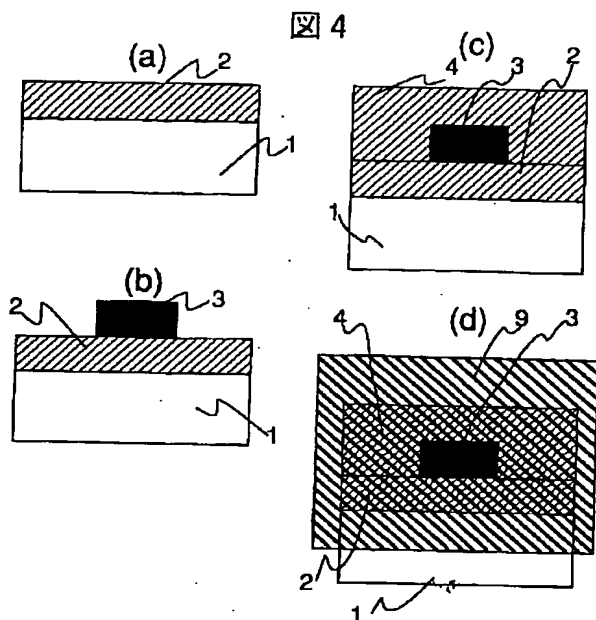
【図 2】



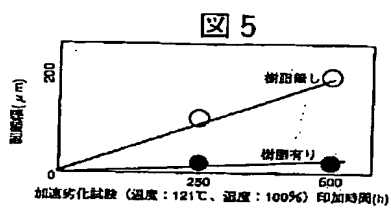
【図 3】



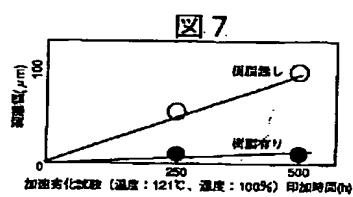
【図4】



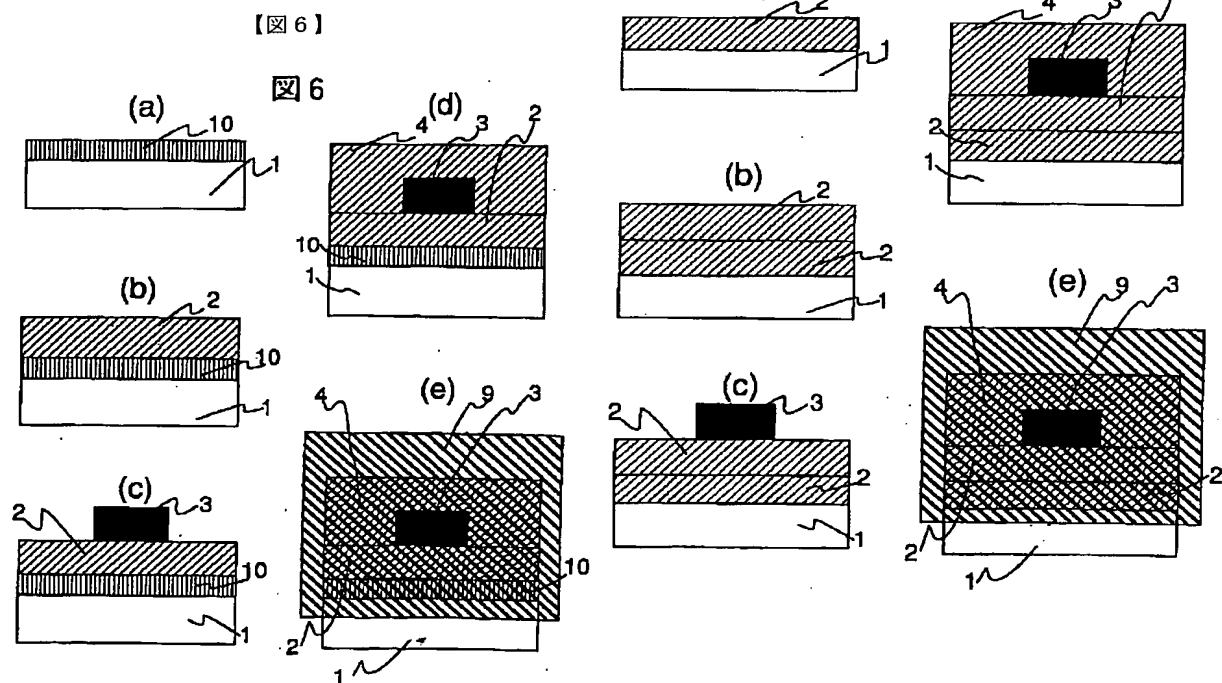
【図5】



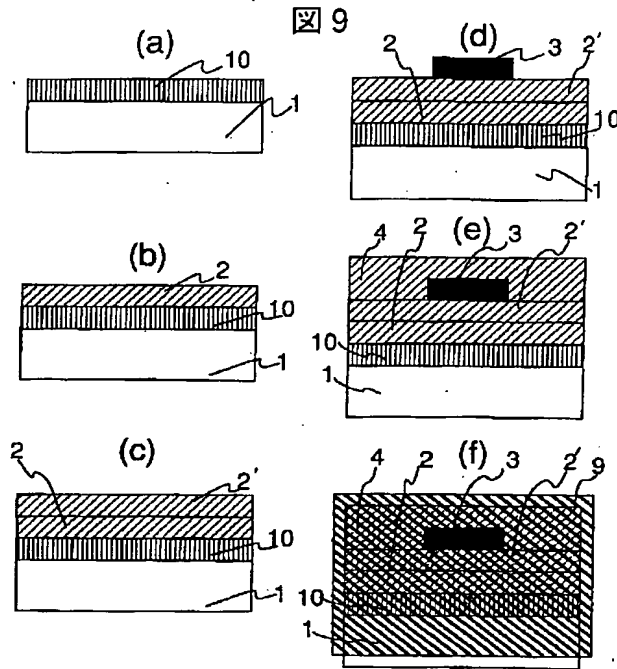
【図7】



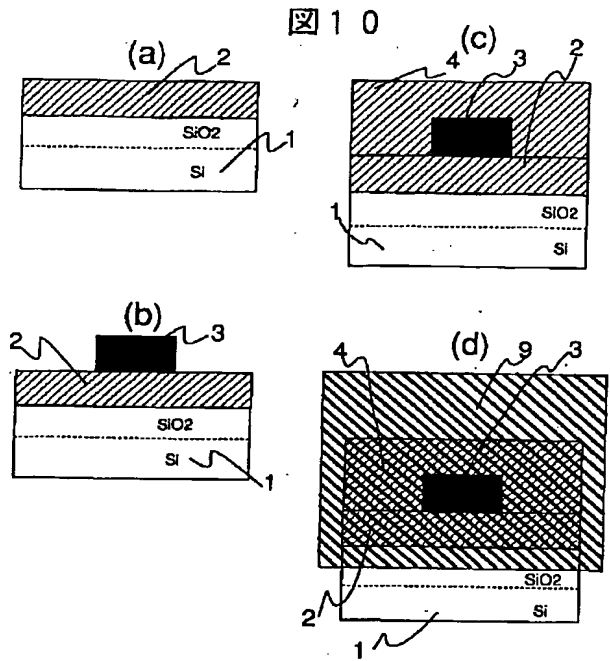
【図8】



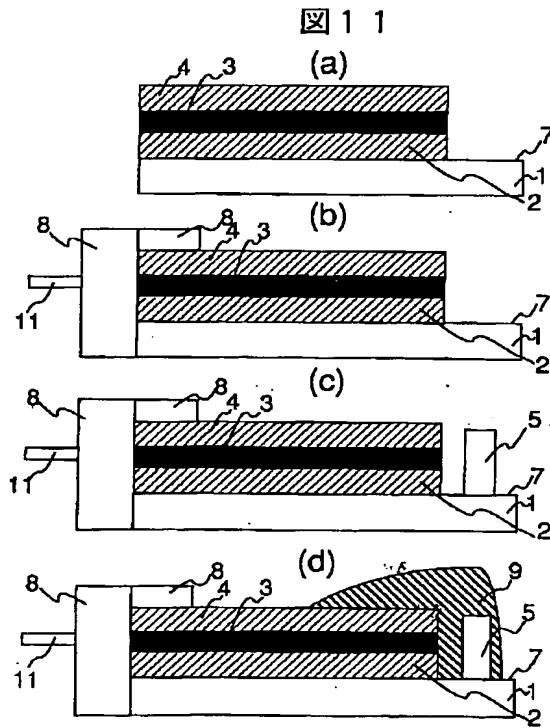
【図 9】



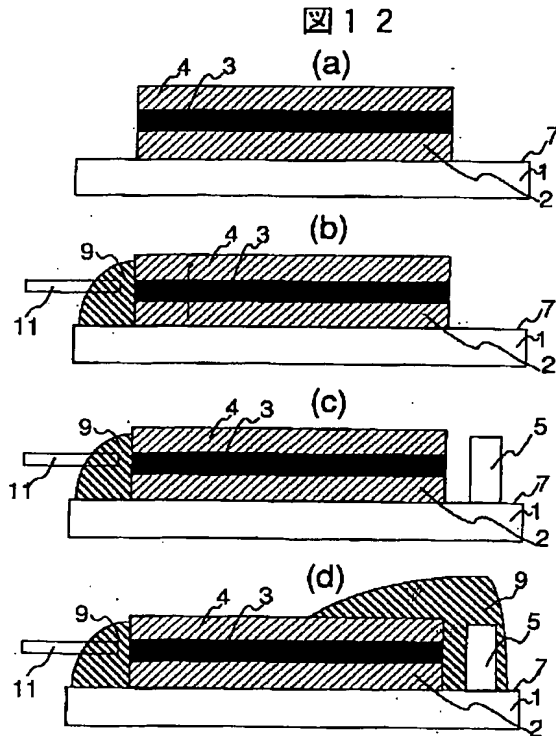
【図 10】



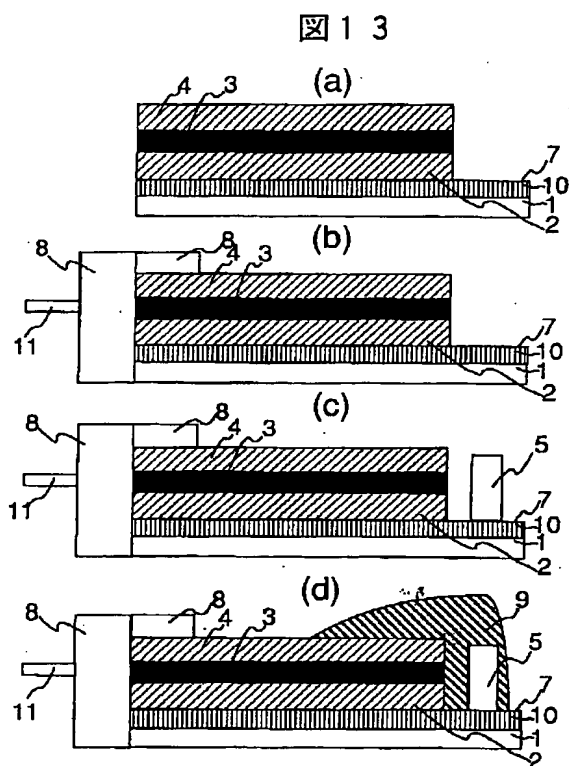
【図 11】



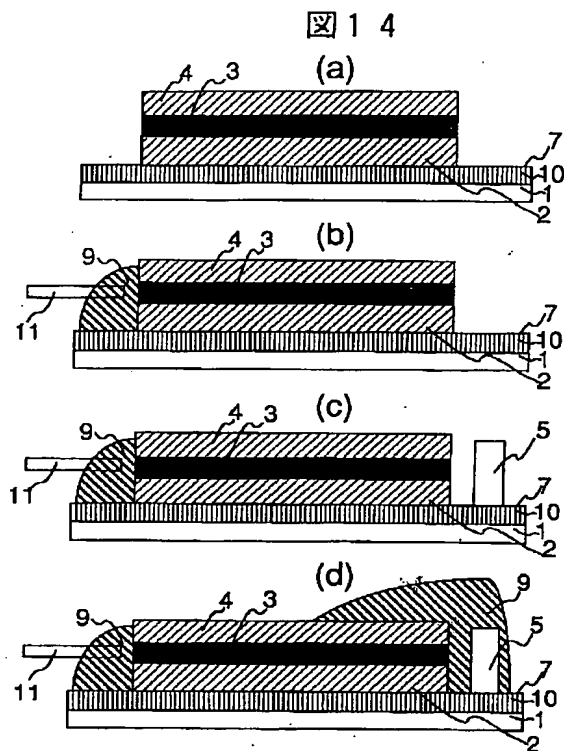
【図 12】



【図13】



【図14】



フロントページの続き

(72)発明者 長良 高光  
東京都小平市上水本町5丁目22番1号 株式会社日立超エル・エス・アイ・システムズ内  
(72)発明者 小泉 真理  
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地 株式会社日立製作所中央研究所内

(72)発明者 桑原 明  
神奈川県横浜市戸塚区戸塚町216番地 株式会社日立製作所通信システム事業本部内  
Fターム(参考) 2H047 KA04 KA15 MA05 MA07 PA02  
PA21 PA24 PA28 QA05 QA07  
TA00

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載

【部門区分】第6部門第2区分

【発行日】平成17年2月24日(2005.2.24)

【公開番号】特開2001-183539(P2001-183539A)

【公開日】平成13年7月6日(2001.7.6)

【出願番号】特願平11-369143

【国際特許分類第7版】

G 0 2 B 6/122

G 0 2 B 6/12

【F I】

G 0 2 B 6/12 A

G 0 2 B 6/12 N

【手続補正書】

【提出日】平成16年3月19日(2004.3.19)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

有機光導波路が、下から順に下部クラッド、コア、上部クラッドをそれぞれ基板上に積層して形成されたものであり、下部クラッド、コア、上部クラッドを構成する絶縁膜の熱膨張係数が基板の熱膨張係数よりも大きく、その差が $2.5 \times 10^{-5}$  (／℃) 以上であり、さらに下部クラッド、コア、上部クラッドを構成する絶縁膜の膜厚が $10 \mu\text{m}$ 以上であり、さらに樹脂が基板、下部クラッド、コア、上部クラッドの全てに接する構造を持つことを特徴とする有機光導波路。

【請求項2】

有機光導波路が、下から順に下部クラッド、コア、上部クラッドをそれぞれ基板上に積層して形成されたものであり、下部クラッド、コア、上部クラッドを構成する絶縁膜の熱膨張係数が基板の熱膨張係数よりも大きく、その差が $1.2 \times 10^{-5}$  (／℃) 以上であり、さらに下部クラッド、コア、上部クラッドを構成する絶縁膜の膜厚が $20 \mu\text{m}$ 以上であり、さらに樹脂が基板、下部クラッド、コア、上部クラッドの全てに接する構造を持つことを特徴とする有機光導波路。

【請求項3】

有機光導波路が、下から順に下部クラッド、コア、上部クラッドをそれぞれ基板上に積層して形成されたものであり、下部クラッド、コア、上部クラッドを構成する絶縁膜の熱膨張係数が基板の熱膨張係数よりも大きく、その差が $0.6 \times 10^{-5}$  (／℃) 以上であり、さらに下部クラッド、コア、上部クラッドを構成する絶縁膜の膜厚が $40 \mu\text{m}$ 以上であり、さらに樹脂が基板、下部クラッド、コア、上部クラッドの全てに接する構造を持つことを特徴とする有機光導波路。

【請求項4】

有機光導波路が、下から順に中間層、下部クラッド、コア、上部クラッドをそれぞれ基板上に積層して形成されたものであり、下部クラッド、コア、上部クラッドを構成する絶縁膜の熱膨張係数が基板の熱膨張係数よりも大きく、その差が $2.5 \times 10^{-5}$  (／℃) 以上であり、さらに下部クラッド、コア、上部クラッドを構成する絶縁膜の膜厚が $10 \mu\text{m}$ 以上であり、さらに樹脂が基板、中間層、下部クラッド、コア、上部クラッドの全てに接する構造を持つことを特徴とする有機光導波路。

## 【請求項 5】

有機光導波路が、下から順に中間層、下部クラッド、コア、上部クラッドをそれぞれ基板上に積層して形成されたものであり、下部クラッド、コア、上部クラッドを構成する絶縁膜の熱膨張係数が基板の熱膨張係数よりも大きく、その差が  $1.2 \times 10^{-5}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) 以上であり、さらに下部クラッド、コア、上部クラッドを構成する絶縁膜の膜厚が  $20\text{ }\mu\text{m}$  以上であり、さらに樹脂が基板、中間層、下部クラッド、コア、上部クラッドの全てに接する構造を持つことを特徴とする有機光導波路。

## 【請求項 6】

有機光導波路が、下から順に中間層、下部クラッド、コア、上部クラッドをそれぞれ基板上に積層して形成されたものであり、下部クラッド、コア、上部クラッドを構成する絶縁膜の熱膨張係数が基板の熱膨張係数よりも大きく、その差が  $0.6 \times 10^{-5}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) 以上であり、さらに下部クラッド、コア、上部クラッドを構成する絶縁膜の膜厚が  $40\text{ }\mu\text{m}$  以上であり、さらに樹脂が基板、中間層、下部クラッド、コア、上部クラッドの全てに接する構造を持つことを特徴とする有機光導波路。

## 【請求項 7】

有機光導波路が、下から順に第 1 の中間層、第 2 の中間層、下部クラッド、コア、上部クラッドをそれぞれ基板上に積層して形成されたものであり、下部クラッド、コア、上部クラッドを構成する絶縁膜の熱膨張係数が基板の熱膨張係数よりも大きく、その差が  $2.5 \times 10^{-5}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) 以上であり、さらに下部クラッド、コア、上部クラッドを構成する絶縁膜の膜厚が  $10\text{ }\mu\text{m}$  以上であり、さらに樹脂が基板、下部クラッド、コア、上部クラッドの全てに接する構造を持つことを特徴とする有機光導波路。

## 【請求項 8】

有機光導波路が、下から順に第 1 の中間層、第 2 の中間層、下部クラッド、コア、上部クラッドをそれぞれ基板上に積層して形成されたものであり、下部クラッド、コア、上部クラッドを構成する絶縁膜の熱膨張係数が基板の熱膨張係数よりも大きく、その差が  $1.2 \times 10^{-5}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) 以上であり、さらに下部クラッド、コア、上部クラッドを構成する絶縁膜の膜厚が  $20\text{ }\mu\text{m}$  以上であり、さらに樹脂が基板、第 1 の中間層、第 2 の中間層、下部クラッド、コア、上部クラッドの全てに接する構造を持つことを特徴とする有機光導波路。

## 【請求項 9】

有機光導波路が、下から順に第 1 の中間層、第 2 の中間層、下部クラッド、コア、上部クラッドをそれぞれ基板上に積層して形成されたものであり、下部クラッド、コア、上部クラッドを構成する絶縁膜の熱膨張係数が基板の熱膨張係数よりも大きく、その差が  $0.6 \times 10^{-5}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) 以上であり、さらに下部クラッド、コア、上部クラッドを構成する絶縁膜の膜厚が  $40\text{ }\mu\text{m}$  以上であり、さらに樹脂が基板、第 1 の中間層、第 2 の中間層、下部クラッド、コア、上部クラッドの全てに接する構造を持つことを特徴とする有機光導波路。

## 【請求項 10】

有機光導波路が、下から順に第 1 の中間層、第 2 の中間層、第 3 の中間層、下部クラッド、コア、上部クラッドをそれぞれ基板上に積層して形成されたものであり、下部クラッド、コア、上部クラッドを構成する絶縁膜の熱膨張係数が基板の熱膨張係数よりも大きく、その差が  $2.5 \times 10^{-5}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) 以上であり、さらに下部クラッド、コア、上部クラッドを構成する絶縁膜の膜厚が  $10\text{ }\mu\text{m}$  以上であり、さらに樹脂が基板、第 1 の中間層、第 2 の中間層、第 3 の中間層、下部クラッド、コア、上部クラッドの全てに接する構造を持つことを特徴とする有機光導波路。



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**